

PUBLIKACE PRAŽSKÉ STÁTNÍ HVĚZDÁRNY  
Č. 20.  
PUBLICATIONS DE L'OBSERVATOIRE NATIONAL  
DE PRAGUE

---

*V. BUMBA — F. LINK*

# ÉTUDES MÉTÉORIQUES

1948

IMPRIMERIE „PROMETHEUS“ PRAHA

## Études météoriques\*

(Reçu le 19 mars 1948)

Une nouvelle méthode de classement thermique des météores permet de déterminer le type de visibilité et la composition de la plupart des météores faibles ( $> 1^m$ ) dont on connaît les altitudes d'apparition et de disparition. Le traitement statistique des trajectoires météoriques conduit à la détermination des différences entre les météores sporadiques et cométaires ainsi qu'à la détermination approchée du gradient de densité entre 50 et 150 km d'altitude.

**1. Introduction.** — A la suite des recherches entreprises par l'un de nous [1, 2] nous avons continué ce genre d'investigations en nous basant sur un nombre plus grand de météores et en détaillant davantage l'analyse des statistiques météoriques.

La méthode employée est une généralisation de la théorie d'Öpik [3] de météores combinée avec nos résultats crépusculaires [4] qui donnent la densité de la haute atmosphère. Nous expliquerons ici brièvement le principe de notre méthode. Dans le phénomène météorique on peut distinguer les phases suivantes:

1° Elévation de la température jusqu'à la fusion; la chaleur consommée =  $q_1$ .

2° Fusion; la chaleur consommée =  $f$ .

3° Elévation de la température jusqu'à la vaporisation; la chaleur consommée =  $q_2$ .

4° Vaporisation; la chaleur consommée =  $v$ .

Nous allons supposer maintenant que la visibilité du météore coïncide avec une des phases ci-dessus (sauf la première) et que la visibilité est accompagnée de la dispersion du noyau météorique soit en état liquide soit par la vaporisation. Il en résultent différents types de visibilité (6 en tout) qui sont caractérisés par le rapport des chaleurs nécessaires depuis l'entrée dans l'atmosphère jusqu'à la disparition et l'apparition respectivement. Ces rapports peuvent être exprimés par les rapports des masses d'air traversées par le météore jusqu'à la disparition  $M_d$  et jusqu'à l'apparition  $M_a$ , c'est-à-dire par le rapport

\*) Extrait du Journal tchécoslovaque de Mathématiques et de Physique 73 (1948).

$$\log_{10} \frac{M_d}{M_a} = k$$

qui peut être déterminé pour chaque météore dont on connaît l'altitude d'apparition  $H_a$  et de disparition  $H_d$ . Les masses d'air sont fournies par les densités de l'air en fonction de l'altitude à partir des mesures crépusculaires. Les rapports ainsi déterminés peuvent être comparés avec les valeurs expérimentales calculées d'après les mesures de laboratoire concernant les matériaux météoriques [5]. On obtient ainsi les valeurs suivantes:<sup>1)</sup>

Tableau I.

Type de visibilité	Apparition	Disparition	Log du rapport des masses d'air	
			Sidérites	Aerolithes
A	début de fusion $M_a \sim q_1$	fin de fusion $M_d \sim q_1 + f$	0,09	0,11
B	début de vaporis. $M_a \sim q_1 + f + q_2$	fin de vaporisation $M_d \sim q_1 + f + q_2 + v$	0,57	0,50
C	fin de fusion $M_a \sim q_1 + f$	fin de vaporisation $M_d \sim q_1 + f + q_2 + v$	0,79	0,64
D	début de fusion $M_a \sim q_1$	fin de vaporisation $M_d \sim q_1 + f + q_2 + v$	0,89	0,76
E	début de fusion $M_a \sim q_1$	début de vaporisation $M_d \sim q_1 + f + q_2$	0,32	0,28
F	fin de fusion $M_a \sim q_1 + f$	début de vaporisation $M_d \sim q_1 + f + q_2$	0,23	0,20

Öpik dans sa théorie ne considère que les types A et B sans donner toutefois explicitement une preuve expérimentale de leur existence. Nous y avons ajouté les autres types et nous verrons plus loin dans quelle mesure leur réalité se vérifie d'après les observations.

**2. Matériel d'observation.** — Dans le présent travail nous avons taché d'abord d'augmenter autant que possible le nombre de trajectoires météoriques entrant dans nos statistiques. Pour cela nous avons puisé dans les publications indiquées en tableau II.

L'ensemble des trajectoires forme une cartothèque établie en plus grande partie par Mr. Fr. Hřebík, membre de la Section de Calcul de la Société astronomique à Prague et nous tenons de lui exprimer ici nos vifs remerciements.

<sup>1)</sup> Le mode de dissipation que nous avons admis est caractéristique au corps cylindrique droit qui se déplace suivant la direction de son axe.

Tableau II.

No.	Désignation	Nombre
1	Denning M. N. 56 .....	107
2	Denning M. N. 72 .....	429
3	Denning M. N. 76 .....	252
4	Porter M. N. 103 .....	289
5	Meteor Sect. J. B. A. A. 27 .....	28
6	Meteor Sect. J. B. A. A. 28 .....	41
7	Meteor Sect. J. B. A. A. 29 .....	75
8	Meteor Sect. J. B. A. A. 48 .....	74
9	Meteor Sect. J. B. A. A. 49 .....	78
10	Meteor Sect. J. B. A. A. 53 .....	79
11	Mem. B. A. A. 24 .....	41
12	Mem. B. A. A. 32 .....	155
13	Wills, Pop. Astr. 41 .....	43
14	Wills, Pop. Astr. 42 .....	147
15	Wills, Pop. Astr. 43 .....	84
16	Savioky, A. N. 228 .....	386
17	Broch, Denk, Wien. Akad. 87 .....	108
18	Olivier, Publ. Flower 22 .....	54
19	Kat. Hoffmeister-Niessl .....	504
20	A. N. 256, 270, 273 .....	55
	Total .....	2929

L'ensemble de météores a été divisé en trois catégories suivantes:

Météores faibles jusqu'à $+1,0^m$ inclus .....	1370 météores
Météores brillants de $+0,9^m$ à $-2,5^m$ (Jupiter) ...	206 météores
Bolides plus brillants que $-2,5^m$ .....	281 météores

Tableau III.

$h_{km}$	$-\log \rho$			$-\log M_{km}$		
	I	II	III	I	II	III
50	2,95	2,95	2,95	2,09	2,09	2,09
60	3,64	3,64	3,64	2,53	2,58	2,62
70	4,04	4,08	4,13	2,82	2,92	3,02
80	4,34	4,46	4,53	3,06	3,17	3,29
90	4,64	4,72	4,82	3,26	3,40	3,53
100	4,86	4,95	5,05	3,43	3,59	3,75
120	5,23	5,37	5,52	3,74	3,96	4,18
140	5,59	5,75	5,96	3,99	4,29	4,57
160	5,84	6,09	6,37	4,20	4,57	4,94
180	6,04	6,38	6,72	4,40	4,82	5,25
200	6,21	6,62	7,05	4,58	5,06	5,55

Les masses d'air ont été adoptées d'après les trois hypothèses suivantes.

L'hypothèse III correspond directement aux résultats crépusculaires et les hypothèses II et I donnent des densités de l'air un peu supérieures. Peu important finalement les valeurs absolues de  $\rho$  et de  $M$ , c'est surtout leur allure avec l'altitude qui est importante. Nos valeurs ne sont qu'approximatives surtout dans l'intervalle de 60 à 90 km où l'on doit attendre quelques particularités dans la fonction  $\log g = f(h)$ . Il faut espérer que les sondages modernes à l'aide des fusées V-2 ou analogues apportent des renseignements nouveaux sur la pression de l'air en haute altitude. D'après les résultats préliminaires de l'ascension [6] du 10. X. 1946 la pression à l'altitude de 85 km serait de l'ordre de 10 dynes tandis que nos hypothèses donnent les pressions entre 50 et 80 dynes. Dès que nous aurons des renseignements plus précis et surtout plus étendus en altitude, il sera possible de réviser complètement notre matériel et de modifier, s'il y a lieu, nos conclusions.

Dans le calcul du rapport des masses d'air nous avons remplacé les masses d'air suivant la trajectoire inclinée du météore par les masses d'air au zenith données dans le tableau III. Ceci est permis jusqu'à la distance zénithale de 80°. Les trajectoires plus inclinées ont été écartées et leur discussion sera donnée plus tard.

**3. Résultats.** — Nous avons d'abord tracé les courbes  $n = f(k)$  qui donnent la fréquence  $n$  des  $k$  en fonction de  $k$  dans l'intervalle de 0,05. Ces courbes ont été tracées pour les différentes hypothèses ci-dessus et de leur ensemble nous pouvons affirmer que c'est l'hypothèse II qui donne des résultats les plus homogènes et les plus nets.

Après avoir adopté cette hypothèse, nous avons procédé à la statistique plus détaillée en choisissant l'intervalle de  $k$  égal à 0,01. Pour adoucir les irrégularités dues aux erreurs d'observation nous avons réuni en moyennes de trois les valeurs voisines en avançant par le pas de 0,01. De cette façon nous avons obtenu les courbes reproduites sur la fig. 1 qui nous serviront de base dans la discussion suivante.

**4. Discussion des résultats.** — Discutons d'abord les météores faibles qui sont les plus nombreux et qui remplissent le mieux les conditions imposées par la théorie d'Öpik. Sur la courbe annuelle comprenant tous les météores faibles on trouve plusieurs maxima de fréquence qui sont désignés par les lettres correspondantes des types de visibilité. Les constantes théoriques de ces types calculées d'après les constantes thermiques de météorites [5] sont marquées par des repères sur l'axe horizontale. On voit que l'accord est bon en plusieurs points.

Le type A ne se trouve pas vérifié par les observations. Le type F donne un maximum où il est difficile de distinguer les pierres des fers sauf dans le cas de Perséides et dans la période printemps-automne. Le maximum E est bien développé et sa position correspond plutôt aux sidérites. Vers  $k = 0,40$  nous rencontrons un maximum qui ne correspond à aucun type connu de visibilité. On peut le rattacher très probablement au maximum suivant B-lit des pierres qui ne sont pas très homogènes. Les fers donnent ensuite un maximum peu distincte vers 0,6. Le maximum suivant C-lit est très bien développé surtout parmi les Perséides et les Léonides. Entre 0,7 et 0,8 se trouve encore un maximum assez prononcé qui pourrait être attribué au type D-lit. Quant aux maxima C-sid et D-sid leur existence est douteuse au moins dans notre matériel.

Etant donné ce nombre de coïncidences entre les valeurs calculées de constantes d'après les mesures de laboratoire et les maxima trouvés d'après les observations, il est difficile de parler des coïncidences fortuites. C'est plutôt une confirmation de la bonne approximation de nos suppositions dont nous sommes partis. Nous insistons tout particulièrement sur la faible valeur du gradient de densité avec l'altitude. Si par exemple, dans l'intervale de 90 à 110 km où les météores sont les plus fréquents, nous adoptions à la place du gradient  $\frac{\Delta \log \rho}{\Delta h} = 0,022$  la valeur 0,06 d'après Whipple [7], nous retrouverions *grosso modo* nos maxima de fréquences déplacés vers la droite aux valeurs environs 3 fois plus grandes, c'est-à-dire dans la plupart des cas en dehors des limites imposées par les mesures de laboratoire.

On peut se rendre compte de la variation du gradient de densité avec l'altitude de la manière fort simple. Dans une faible étendue

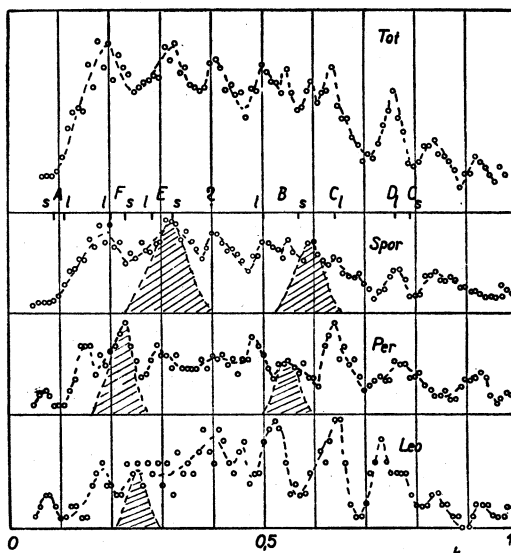


Fig. 1. Courbes de fréquence  $n = f(k)$ , moyennes de trois avançant par 0,01 en  $k$ . Les parties occupées par les sidérites sont hachurées.

d'altitudes  $h$  on peut admettre la variation de la densité  $\rho$  suivant la formule

$$\rho = \rho_0 e^{-\beta(h-h_0)}$$

et nous aurons par suite aussi

$$k = 0,43\beta (H_a - H_d).$$

Nous avons établi les statistiques de fréquence des différences  $H_a - H_d$  pour les trois intervalles d'altitudes moyennes  $H_0 = (H_a + H_d) : 2$  suivantes:  $50 \text{ km} < H_0 < 79 \text{ km}$ ,  $80 \text{ km} < H_0 <$

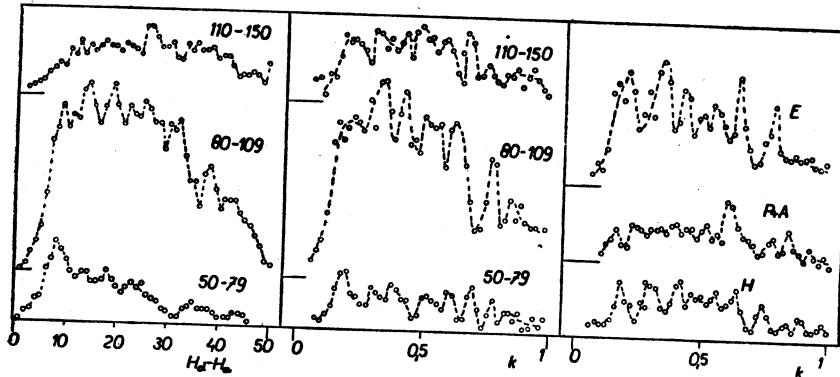


Fig. 2. A gauche: Fréquence de  $H_a - H_d$  (km) en fonction de l'altitude moyenne. Au milieu: Fréquences de  $k$  en fonction de l'altitude moyenne. A droite: Fréquences de  $k$  pour l'altitude moyenne 80-110 km en fonction de la saison de l'année.  $E$  = mai, juin, juillet, août;  $P + A$  = février, mars, avril, septembre, octobre;  $H$  = novembre, décembre, janvier.

$< 109 \text{ km}$ ,  $110 \text{ km} < H_0 < 150 \text{ km}$ . Les courbes de fréquence (fig. 2) sont analogues aux courbes de la fig. 1. Il serait peut-être difficile à première vue d'identifier mutuellement les différents maxima des deux courbes, mais ce qui frappe, c'est le décalage des maxima vers la droite avec l'altitude moyenne croissante. Le décalage peut être interprété d'après la formule cidessus par la diminution du gradient  $\beta$  de densité avec l'altitude. Cette diminution est respectée par l'introduction des masses d'air et les courbes  $n = f(k)$  ne doivent pas présenter un décalage avec l'altitude.

Nous avons alors tracé les courbes  $n = f(k)$  pour les trois intervalles ci-dessus (voir la fig. 2). Les météores sont peu nombreux audessous de 80 km, très nombreux entre 80 et 110 km et sensiblement moins nombreux plus haut. Néanmoins on peut dire en comparant surtout les deux derniers intervalles qu'il n'y pas de décalage sensible entre les maxima de fréquence.

Quant à la variation saisonnière, nous n'en avons trouvé aucune indication nette ce qui est en contradiction avec le travail précé-

dent [2]. Il faut toutefois noter que le nombre actuel de météores est plus que le double de celui qui était à notre disposition auparavant. Nous avons également tâché de mettre en évidence la variation saisonnière dans la couche de 80 à 100 km (voir la fig. 2). Le résultat est encore négatif.

**5. Météores cométaires.** — Nos statistiques de  $k$  permettent d'analyser quelques essais météoriques comme les Perséides et les Léonides dont le nombre est suffisant. La comparaison des météores cométaires avec les météores sporadiques fait ressortir quelques différences entre ces deux catégories notamment la faible proportion des B-sid parmi les météores cométaires. Cette catégorie est à peine indiquée parmi les Perséides et paraît manquer complètement parmi les Léonides. Cette constatation ne signifie pas le manque absolue des sidérites, car elles peuvent se trouver encore dans la catégorie F et E où les fers se distinguent assez mal des pierres. Une estimation préliminaire donne comme proportion des sidérites parmi les météores dont  $k < 1,0$  20% pour les Perséides et la valeur un peu moins sûre  $< 10\%$  pour les Léonides, tandis que parmi les sporadiques la proportion des sidérites s'élève à 30%. En tout la proportion des sidérites est voisine de 25% des météores dont  $k < 1,0$  et qui constituent la majorité de 88% de tous les météores faibles. Notons encore le maximum très marqué C-lit parmi les météores cométaires qui est très peu visible parmi les sporadiques. La prépondérance des pierres parmi les météores cométaires signalée ailleurs [8] trouve ici la confirmation.

**6. Météores brillants et bolides** donnent des courbes de fréquence dont les maxima sont déplacés vers la droite probablement par le manque d'isothermie du noyau météorique. Ces circonstances ont été discutées plus en détail dans le travail précédent auquel nous renvoyons le lecteur. Il est intéressant de noter la forte proportion des C-lit surtout parmi les bolides. Nous pensons de revenir encore sur une discussion plus détaillée basée alors sur des principes différents de ceux dont nous sommes partis dans ce travail. Autrement dit notre théorie qui suppose l'isothermie du noyau météorique cesse d'être applicable telle quelle aux météores plus brillants que 1<sup>m</sup> environ.

**7. Conclusions.** — Dans ce travail nous avons visé deux buts différents: l'exploration de la haute atmosphère et la classification thermique des météores. Quant à l'exploration de la haute atmosphère nous sommes arrivés aux conclusions suivantes:

1° Le gradient moyen de densité décroît avec l'altitude. Les valeurs moyennes sont: 0,050/km entre 50—80 km, 0,023/km entre 80—110 km, 0,014/km entre 110—150 km en logarithmes décadiques. Ces valeurs numériques dépendent des constantes thermiques des météorites. Elles sont en bon accord avec les mesures crépusculaires.



2° Il n'y a pas de variation annuelle appréciable du gradient moyen entre 50 et 150 km, ni dans la couche entre 80 et 110 km.

En ce qui concerne le problème météorique proprement dit.

3° Il est possible de classer chaque météore dont on connaît l'altitude d'apparition et de disparition dans une des catégories que nous avons définies et qui comprennent environ 88% des météores plus faibles que 1<sup>m</sup>.

4° Ce classement doit se faire à la base des masse d'air dont nous avons fourni les valeurs provisoires. Notre classement peut dans certains cas remplacer l'analyse spectrale impossible des météores à cause de leur faiblesse.

5° Comme première application de ce classement nous pouvons donner la proportion Sid : Lit = 30 : 70 pour les météores sporadiques et 15 : 85 pour les météores cométaires (Perséides et Léonides).

6° La visibilité de la plus grande partie ( $\frac{2}{3}$ ) des météores est liée à l'état liquide du noyau.

En terminant nous voudrions exprimer notre désir qui nous hantait durant ce travail: Plus de météores! En effet les statistiques demandent un nombre suffisant d'individus pour pouvoir former des groupes assez caractéristiques et nous étions considérablement gênés par le nombre relativement faible de météores. De ce point de vue le présent travail ne peut donner qu'une indication des possibilités réservées à notre méthode dont le développement dépend du nombre d'observations.

*Observatoire National de Prague.*

#### BIBLIOGRAPHIE.

1. F. Link: C. R. Paris, **221**, (1945), p. 326.
2. F. Link: Bull. Math. Phys. Tchécosl. **71**, (1946), p. 79.
3. E. Öpik: Publ. Obs. Tartu **29**, (1937), No. 5.
4. F. Link: Met. Zeit. **61**, (1944), p. 87.
5. F. Link-O. Petráček: Bull. Math. Phys. Tchécosl. **72** (1947), p. 147.
6. E. O. Hulburt: Journ. Opt. Soc. Amer. **37**, (1947), p. 405.
7. F. L. Whipple: Pop. Astr. **47**, (1939), No. 8.
8. P. M. Millman: H. A. **82**, (1932), No. 6 et 7.

#### Meteorické studie.

(Obsah předešlého článku.)

Pokračování a rozšíření práce uveřejněné v tomto časopise [2]. Cílem této práce je výzkum vysoké atmosféry pomocí meteorů a tepelná klasifikace meteorů. Pomocí tepelných konstant meteorů odvozených z laboratorních dat je možno užitím Öpikovy teorie meteorů a jejího rozšíření v této práci odhadnouti gradient hustoty ve vysoké atmosféře mezi 50 až 150 km výšky. Ve velké většině případů lze z výšky zážehu zhasnutí meteoru odvoditi jeho typ a složení, zejména u slabších meteorů, kde nelze fotografovati jejich spektra.

Spisovatel *V. Bumba — F. Link*  
Název díla *Études météoriques*  
Vydala *Státní hvězdárna Republiky československé v Praze*  
roku *1948*  
Edice *Publikace Pražské státní hvězdárny č. 20*  
Stran *8*  
Obrazy *2*  
Výtiskla *Knihhtiskárna Prometheus v nár. správě, Praha VIII*  
Náklad *550 výtisků*  
Vydání *první*

## Publications de l'Observatoire National de Prague:

- 1.—2. *F. Nušl-J. Frič*: Troisième étude sur l'appareil circumzénithal.
  3. *F. Nušl*: Comparaison mondiale des pendules. Fractionnaire (1925).
  4. *V. Nechvíle*: Recherches sur les mouvements propres de 3802 étoiles (1927).
  5. *O. Seydl*: The maps of the boundaries of the constellations in the galactic system of co-ordinates (1928) épuisé.
  6. *O. Seydl*: The spectral distribution of stars magnitude 7,0 and brighter in the Henry Draper catalogue. P. I. Text. — P. II. Tables. (1929).
  7. *V. Nechvíle*: Sur la théorie ellipsoïdale de Schwarzschild. (1930).
  8. *O. Seydl*: Die Geschichte eines Chronometers der Königl. Böhmisches Gesellschaft der Wissen. in Prag (1791—1864) (1935).
  9. *V. Nechvíle*: Observations photographiques de la planète Eros en 1931 (1935).
  10. *V. Nechvíle*: Sur les méthodes de réduction des observations astrophotographiques et le calcul des positions d'Eros en 1931 (1935).
  11. *O. Seydl*: Briefe F. X. Freiherrn von Zach Direktors der herzoglichen Sternwarte am Gotha-Seeberg und seines Nachfolgers Bernhards von Lindeau von 1791—1816 an P. Martin Alois David Direktor der Königlich Prager Sternwarte (1938).
  12. *F. Link*: Sur une nouvelle construction de microphotomètre de l'Observatoire de Praha. *Vl. Guth*: Tables pour la réduction des époques à l'année sidérale (1939).
  13. *O. Seydl*: Knihovna astronoma Antonina Strnada, ředitelka Pražské hvězdárny (1746—1799).
  14. *F. Link-Z. Sekera*: Dioptrische Tafeln der Erdatmosphäre (1940).
  15. *Vl. Guth-F. Link*: Messungen der atmosphärischen Absorption auf terrestrischer Basis (1940).
  16. *B. Šternberk*: Über die Fehler einiger astronomischen Objektive und Spiegel (1941).
  17. *F. Link*: Tafeln zur Berechnung der galaktischen Bewegungskomponenten der Sterne. Mit einer Vorrede von J. H. Oort (1941).
  18. *F. Link*: Extension des tables dioptriques de l'atmosphère terrestre. Exploration météorique de la haute atmosphère (1947).
  19. *J. Bouška-Vl. Guth-F. Link*: Supplément international de l'Annuaire astronomique pour 1949 (1948).
- Travaux dédiés à Dr F. Nušl pour son soixante-dixième anniversaire le 3 décembre 1937 (1938).